



鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎
著
中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円+税

- 1章 放射線とは? 《放射線入門》
 - 2章 放射線の性質 《放射線物理学 I》
 - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質
《原子核物理学・原子力工学》
 - 4章 放射線量の評価 《放射線物理学 II》
 - 5章 放射線の測り方 《放射線計測学》
 - 6章 環境中での放射性物質 《環境放射化学》
 - 7章 放射線の細胞への影響 《放射線生物学》
 - 8章 放射線の人体への影響 《放射線医学》
 - 9章 放射性物質と農業 《植物栄養学・土壤肥料学》
 - 10章 放射線の防護と安全 《放射線防護学》
 - 11章 役に立つ放射線 《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会是非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

2013年度冬学期 主題科目テーマ講義

放射線

を

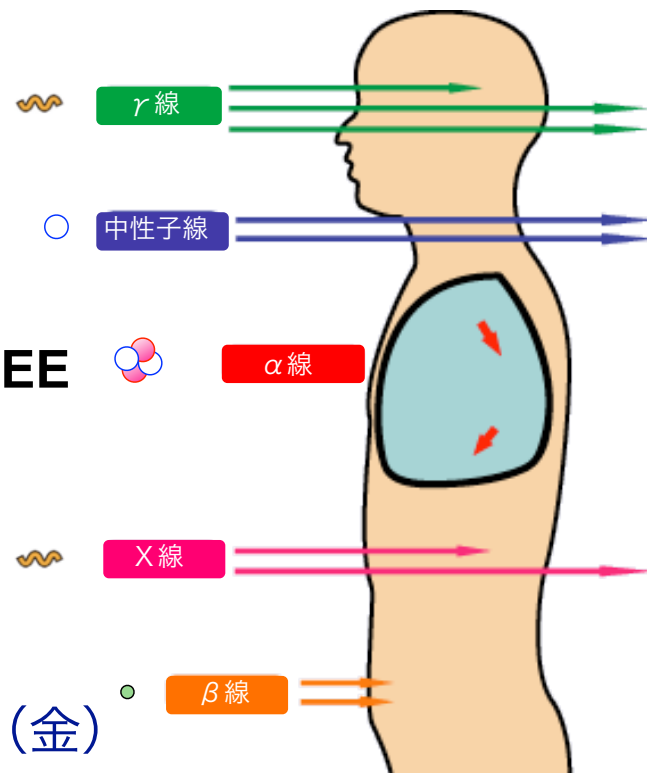
科学的に
理解する

金曜5限

@ 21 KOMCEE

K303教室

2013 / 10 / 25 (金)



第3回

放射線計測学

放射線の測定原理・方法・問題点

小豆川 勝見

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

放射線を科学的に理解する

- 10/11 放射線入門 【鳥居】
- 10/18 放射線物理学 【鳥居】
- 10/25 放射線計測学 【小豆川】
- 11/ 1 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 8 放射線生物学 【渡邊】
- 11/15 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/29 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 12/13 環境放射化学 【小豆川】
- 12/20 放射線防護学 【飯本】
- 1/10 植物栄養・肥料学 【藤原】
- 1/24 放射線の利用 【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

飯本 武志 《環境安全本部》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

放射線を科学的に理解する (化学分野1回目)

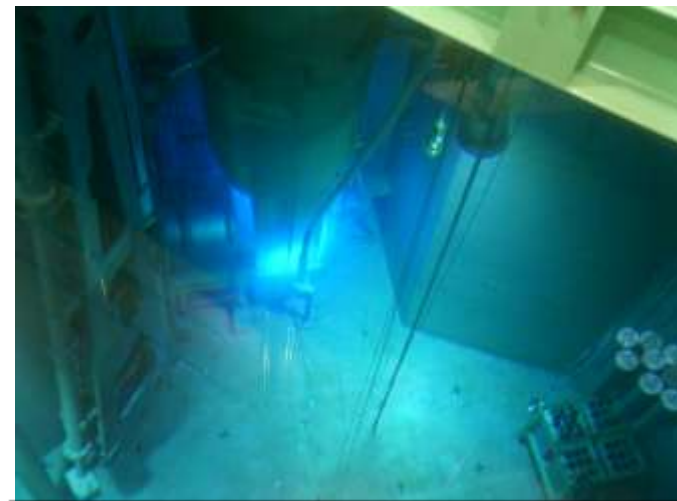
小豆川(しょうずがわ)勝見

自己紹介

- ▶ 小豆川勝見(しょうずがわ かつみ)
 - 専門は環境分析化学、放射化学
- ▶ 研究用原子炉で行う「放射化分析」「即発 γ 線分析」というメソッドを研究に用いてきた
- ▶ 福島の事故以降、原子炉での経験を踏まえて、環境中に拡散している核種の測定を始めた
- ▶ 学内では「基礎化学実験」を担当。逆評定では面白いコメントを期待している。



原子炉に入れた試料を取り出している様子。(放射化分析法)



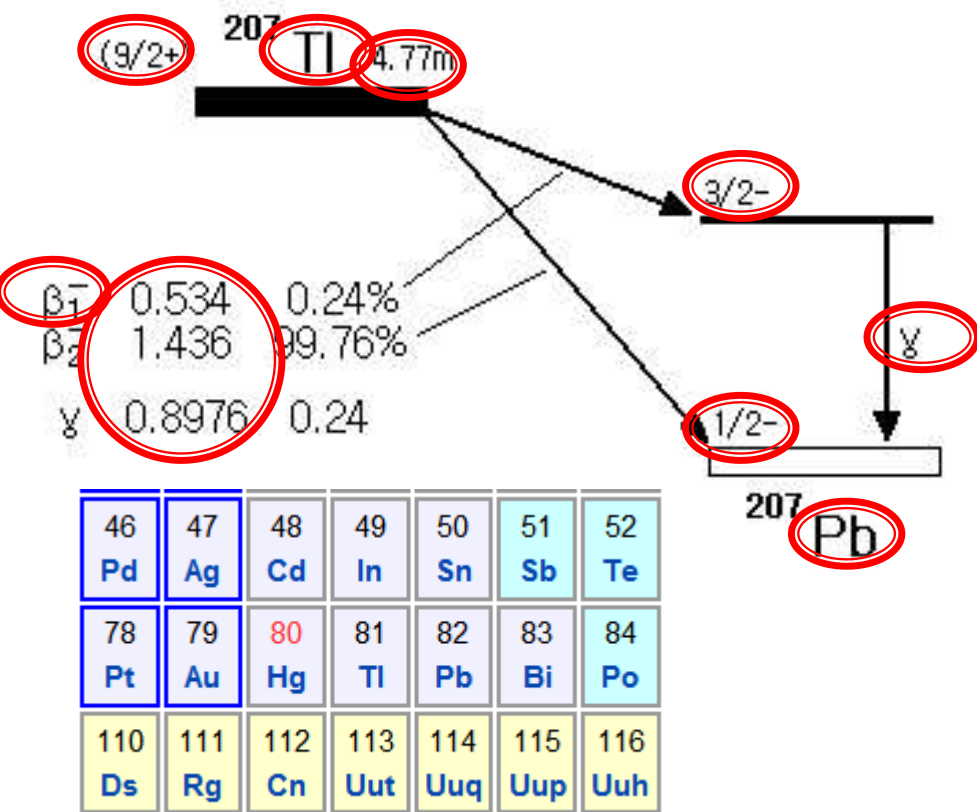
臨界している原子炉。(茨城県東海村研究炉JRR-4、現在停止中)

はじめに

- ▶ 福島第一原子力発電所事故前からSv, Bqという単位を知っていた方はどのくらいいますか？
 - 研究室に入ってくる修士課程の院生は「むかしやったような...?」程度。
 - 放射線測定を専門に扱うラボでもこんなもの。
- ▶ 外国に出かければ、間違いなく福島原発の話題になるでしょう。
 - 事故に対する関心は極めて高い
 - 考え方は人それぞれですが、基礎知識は必須
- ▶ ぜひ、この講義で放射線の基礎知識を身につけて下さい

原子核崩壊図と崩壊モード

それぞれの線や記号、数字が何を表しているのか



▶ ^{207}Tl の原子核崩壊図

▶ 崩壊モードは β
 ◦ ref. 周期律表

▶ パリティ(スピンパリティ)

▶ 半減期

▶ エネルギー

ベータ線

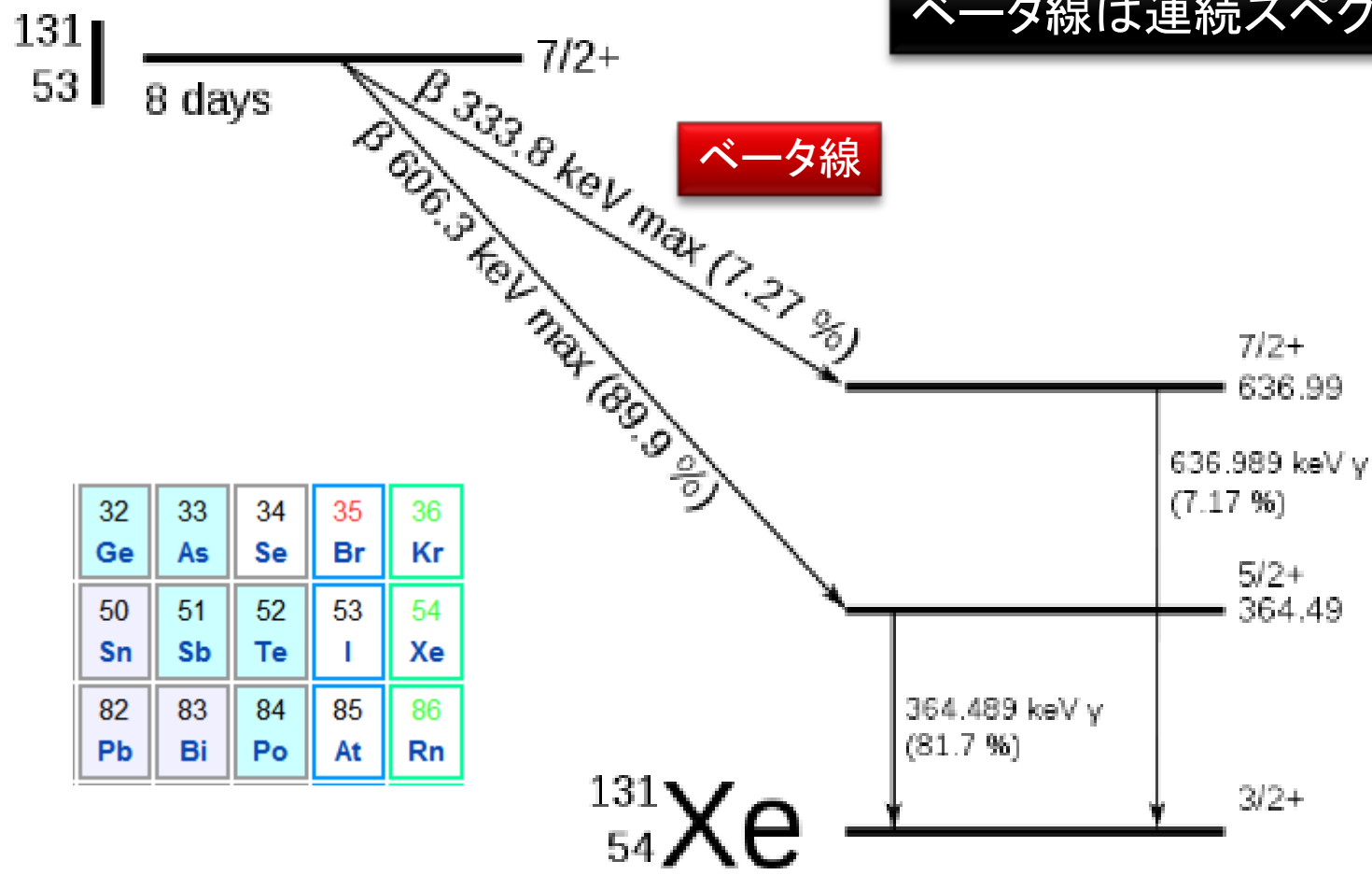
反ニュートリノへのエネルギー供与(質量欠損)のため、電子に与えられるエネルギーは連続的になる。

ガンマ線

β 崩壊後の核異性体からのガンマ線
 核種同定に適している

^{131}I の核崩壊図

ベータ線は連続スペクトル！



32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn

364.49 keVのガンマ線を見つけた！ → ^{131}I がありそうだ！

β^- 崩壊なのになぜ γ 線を測る？

▶ 最も測りやすいのは γ 線

- γ 線は光。試料の前処理がいらぬ(そのまま測れる)

▶ ^{131}I や ^{137}Cs は β^- 崩壊、だから β 線を観測しても良いけど...

- β 線は連続スペクトルなので、いきなり β 線を測るとどの核種を測っているのか分からない
- そのため分離・精製操作が必須。(=放射性廃液が大量に発生する)

▶ ^{131}I や ^{137}Cs は β^- 崩壊時に γ 線も放出する

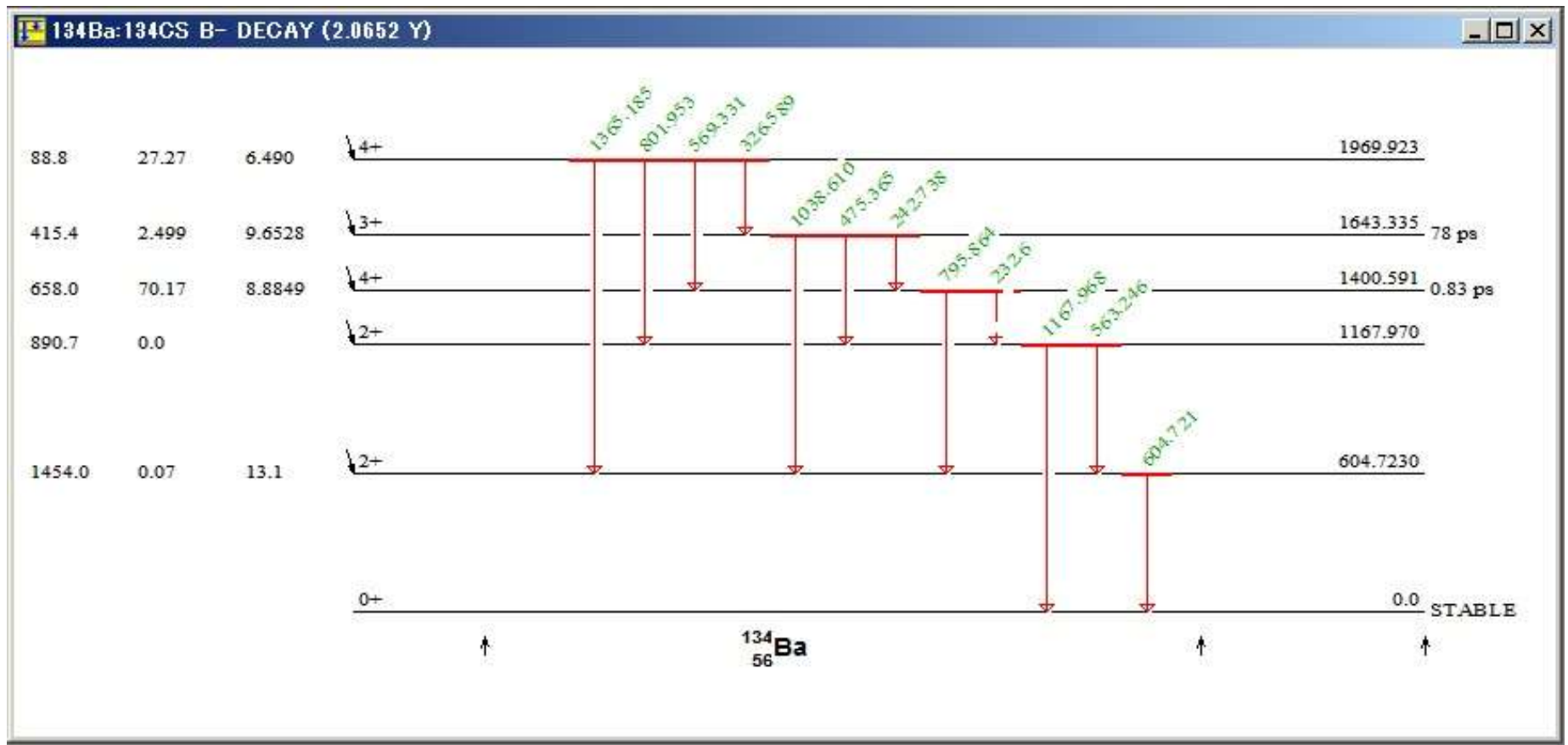
- 崩壊先の核種のmeta stableから基底に落ちるときの γ 線
- そのまま測れる γ 線を測ろう！

1秒間に1個の原子核が崩壊することが1Bq

- ▶ 1Bqにつき放射線が必ず1本出るとは限らない。(放出率)
 - ^{137}Cs の場合、1Bqにつき γ 線は(確率上)0.85本でる。
 - 661.64keV 85.0%
 - ^{134}Cs の場合、1Bqにつき γ 線は(確率上)約2本でる。
 - 604.66keV 97.56%
 - 795.76keV 85.44%
 - 569.29keV 15.43%
 - 801.84keV 8.73%...あとたくさん
- ▶ γ 線スペクトルから特定のエネルギーのピークのネット面積をカウントして、放出率と時間で除すればよい。
- ▶ これに立体角補正と自己吸収補正行えば(とりあえず)Bqが算出できる

(参考)¹³⁴Csは複雑なdecayをする

¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Csの中ではダントツで¹³⁴Csの定量が難しい



核エネルギーライブラリ

NUC **γ線用ゲージ.LIV**

γ線用ゲージ.LIV

核種固有パラメータ

核種名: - 親核種名:

半減期: 日 核種属性:

定量ピーク: 登録数:

Pr	エネルギー	放出率(%)	ピーク属性
1	364.4800	81.0000	

妨害テーブルピーク: 登録数:

Pr	エネルギー	放出率(%)	ピーク属性
0	80.1830	2.6000	
0	284.2980	6.0000	
0	636.9730	7.2000	
0	722.8930	1.8000	

Ac
Ag
Am
As
Ba
Be
Bi
Ce
Co
Cr
Cs
Fe
Ga
Ge
I
I-131
I-132
K
La
Mn
Mo
Nb
Nd
Np
Pa
Pb

ガンマ線の測定装置(1)

- ▶ シンチレーションカウンタ
 - シンチレーターにはNaI(Tl)が最もよく使われる
 - 分解能はイマイチ

AT1320A

食品放射能(セシウム)スクリーニングシステム

食品中の放射能(セシウム)を
3.7~1,000,000Bq/kgの範囲で測定します

特長

- 2.5" x 2.5" NaI(Tl)検出器を使用した放射線スペクトル測定
- 1リットルマリネリ容器、0.5リットルフラット容器使用
- 鉛遮蔽体装備
- 自動LEDスタビリゼーション機能装備
- 自動バックグラウンド減算機能
- "エネルギーウインドウ"を使用したスペクトル処理
- 128x64 LCD表示部にスペクトルデータを表示
- 不揮発性メモリに300のスペクトルを保存可能
- PCインタフェース

アプリケーション

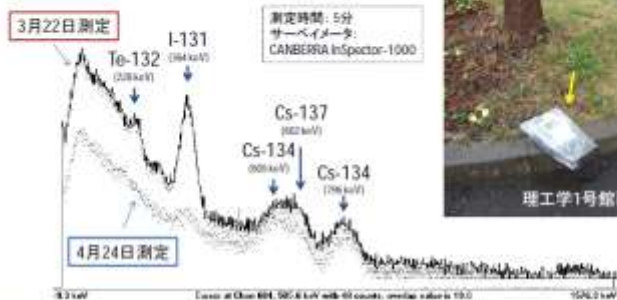
- 放射能スクリーニング
- 食品(飲料水、農業製品等)
 - ミネラル、建築材料、材木等
 - 金属、石油化学製品、原材料、スクラップ等
 - 放射性廃棄物



サーベイメータによる 芝生上のガンマ線強度定点観測

放射性物質が大量に降下して以降、我々は理工学1号館西側の芝生上でガンマ線の強度を定点観測しています。測定にはガンマ線のエネルギーも測定できるサーベイメータを使用しています。

NaI(Tl)検出器で測定した ガンマ線エネルギースペクトル



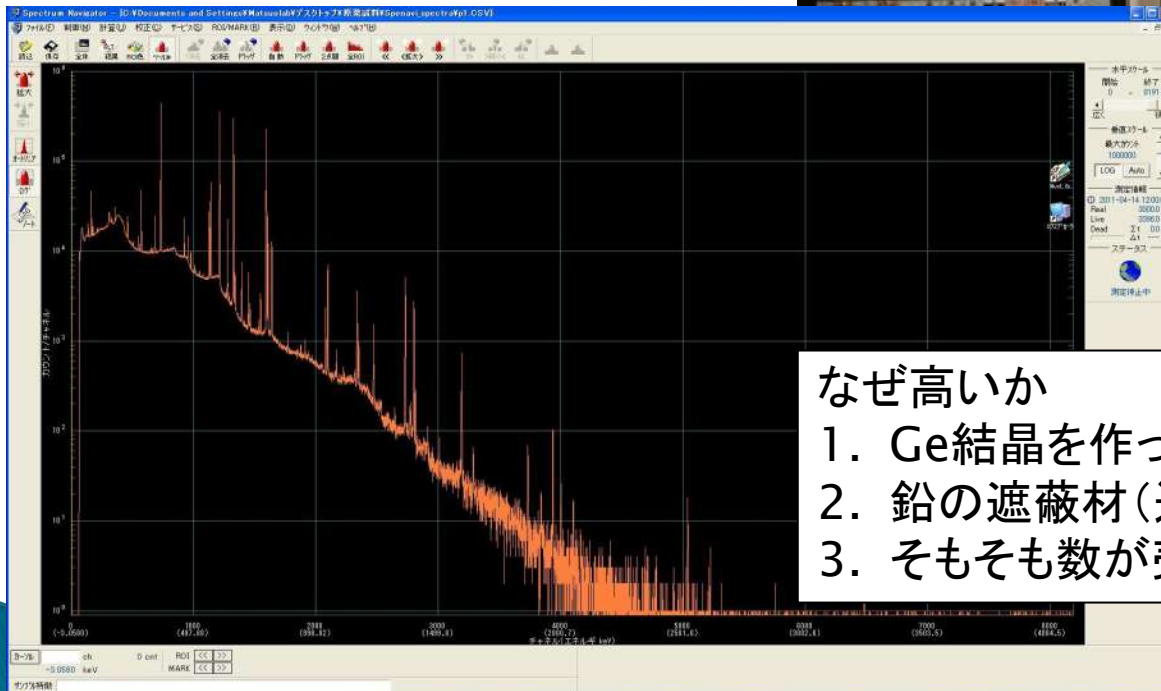
防衛大で観測された福島第1原発事故の影響
防衛大学校 応用物理学科 放射線計測研究室. 松村徹ら, 2011

研究用NaI。米俵サイズ→

ガンマ線の測定装置(2)

▶ ゲルマニウム半導体検出器

- 最高のエネルギー分解能
 - ・ 線幅が細く、同定が容易
- 非常に高価、メンテ必須
- 操作は経験者でないとダメ



なぜ高いか

1. Ge結晶を作っている会社は世界でも3社のみ
2. 鉛の遮蔽材(通常の鉛ではいまいち)
3. そもそも数が売れるものではない

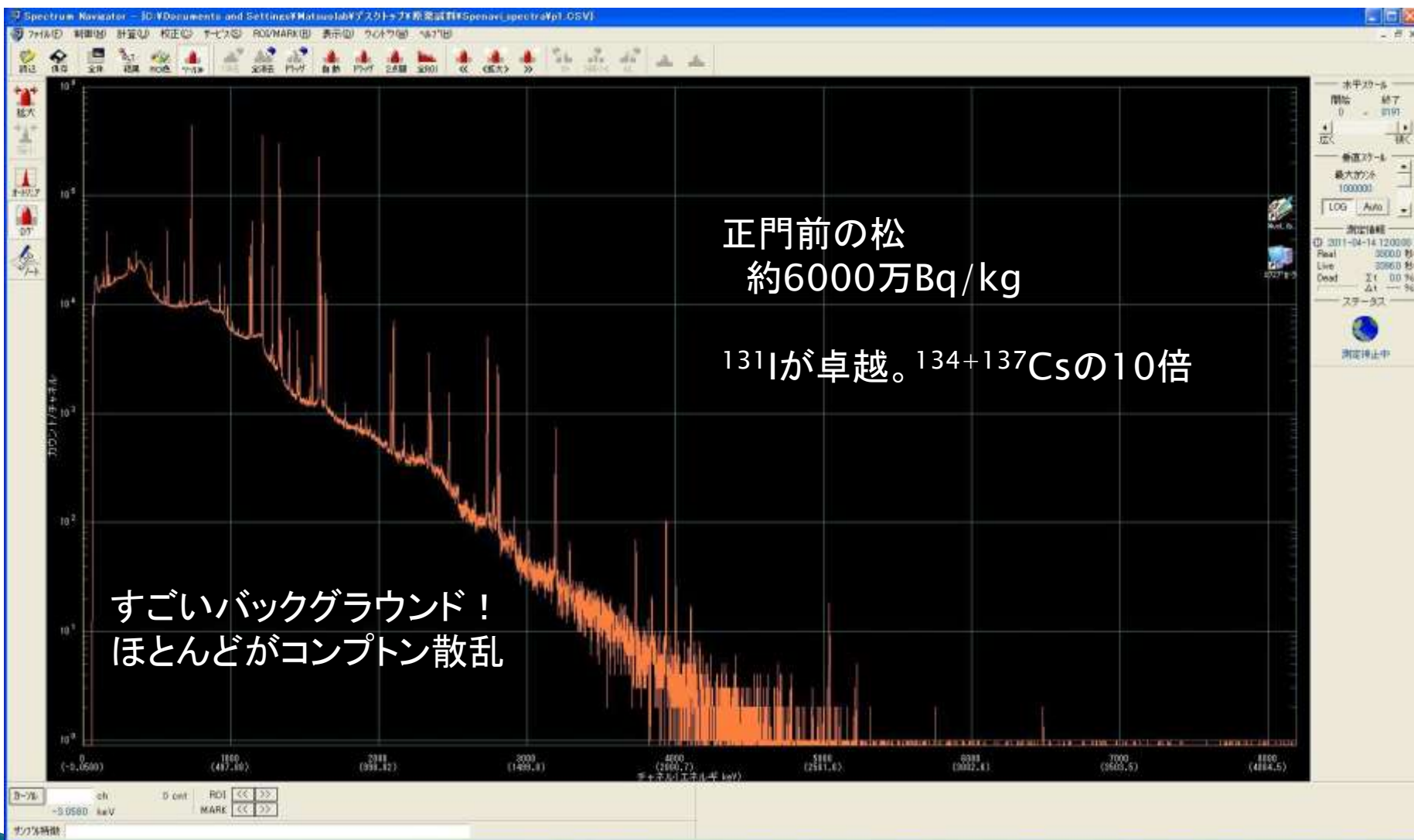
ゲルマニウム半導体検出器

- ▶ 100Bq/kgのオーダーを狙うには「ゲルマニウム半導体検出器」が最適です。
 - 検出限界は試料や測定条件によります
- ▶ NaIシンチレーションカウンターでも狙うことはできるが、測定条件をシビアにする必要がある

東京大学アイソトープ総合センター内
ゲルマニウム半導体検出器

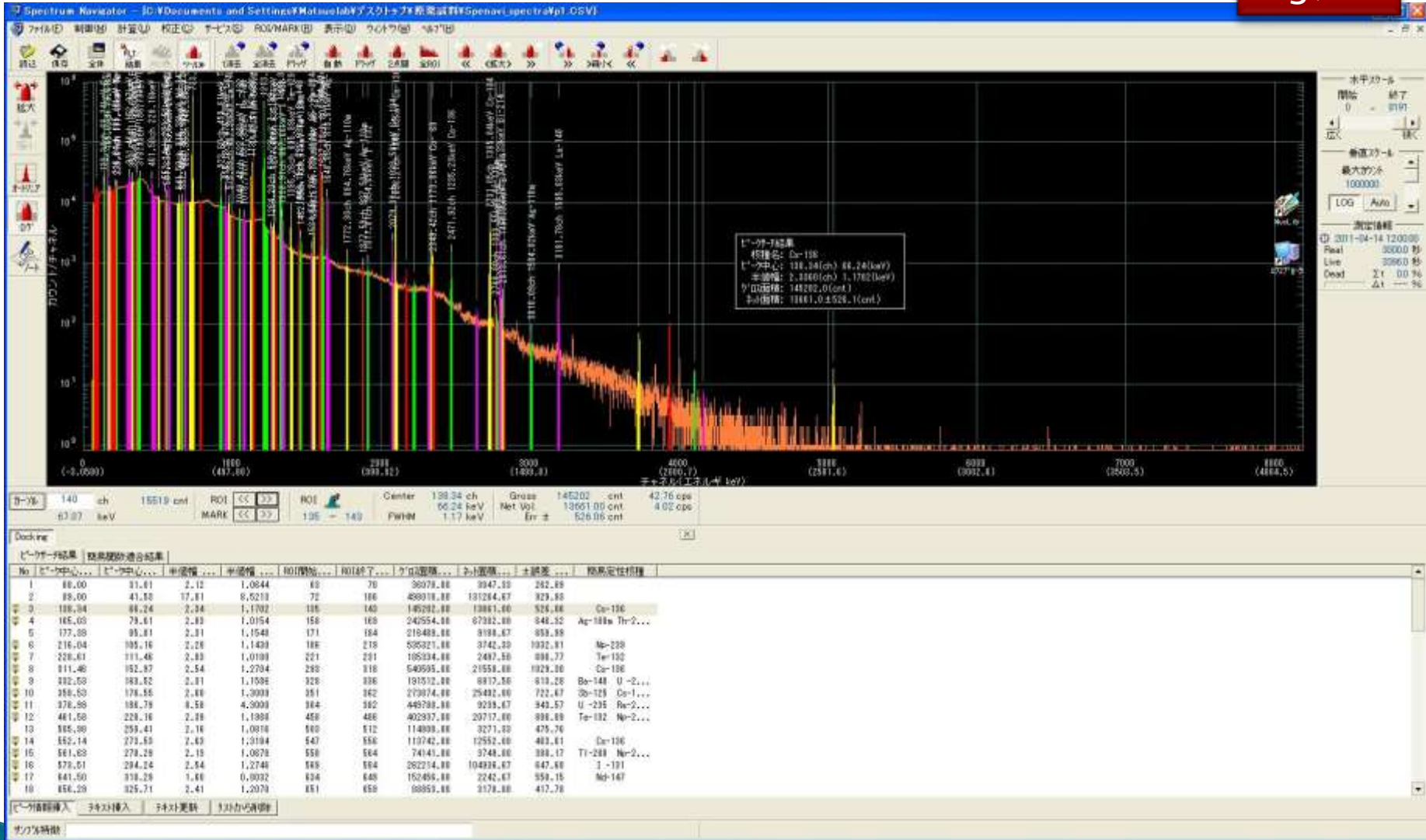


福島第一原発正門前の植物試料のガンマ線スペクトル

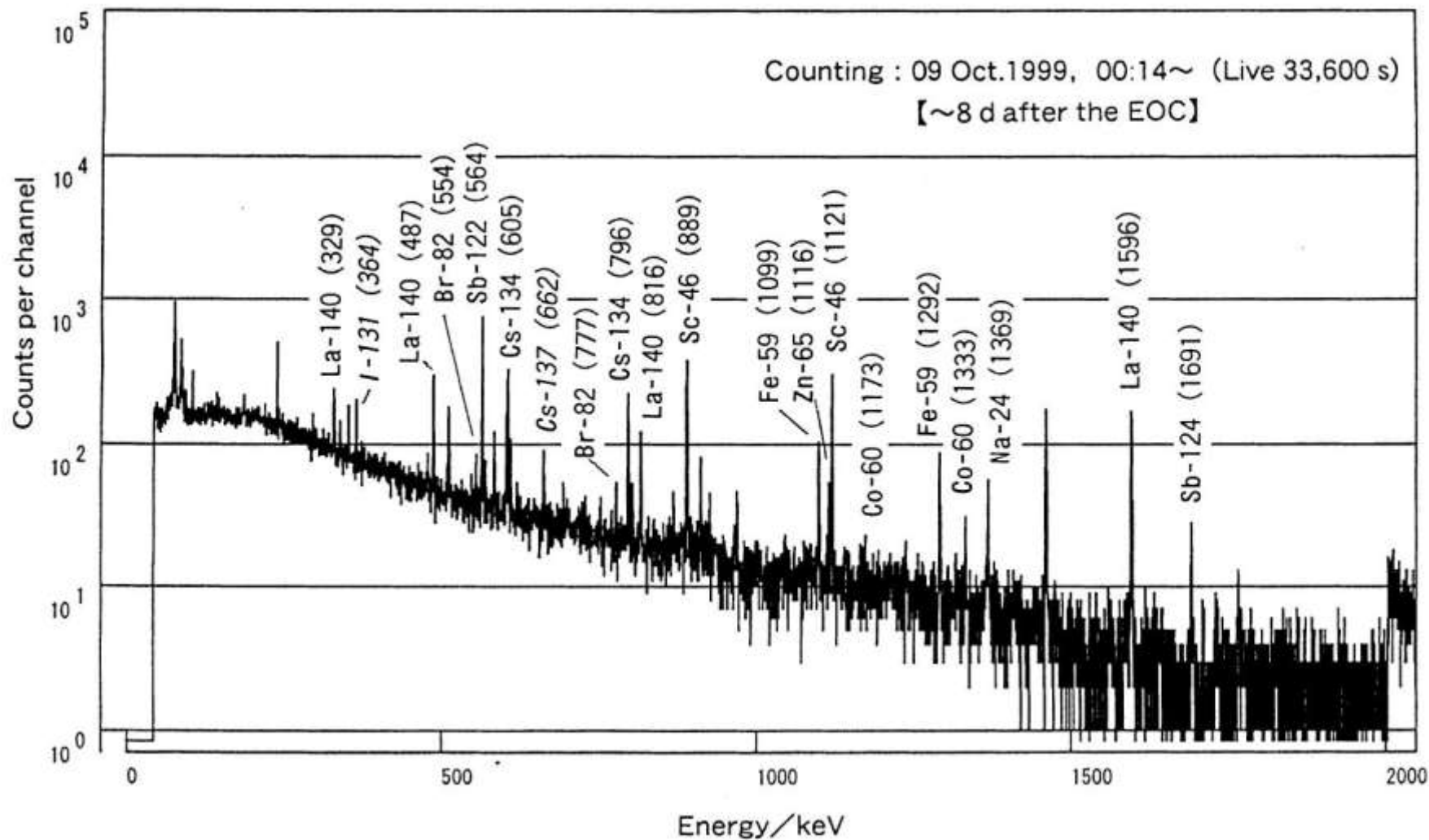


福島第一原発正門前の植物試料のガンマ線スペクトル

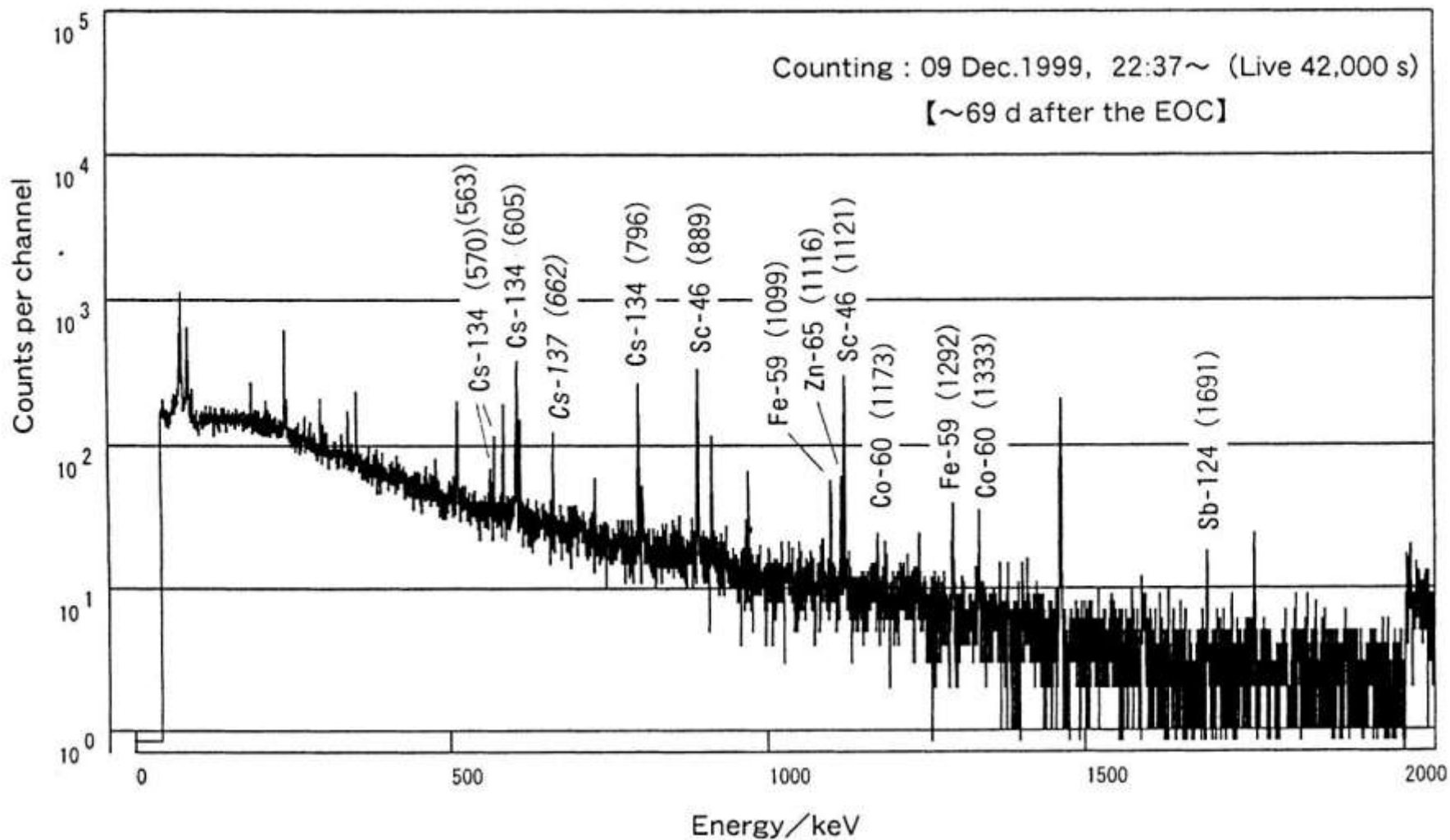
log表示



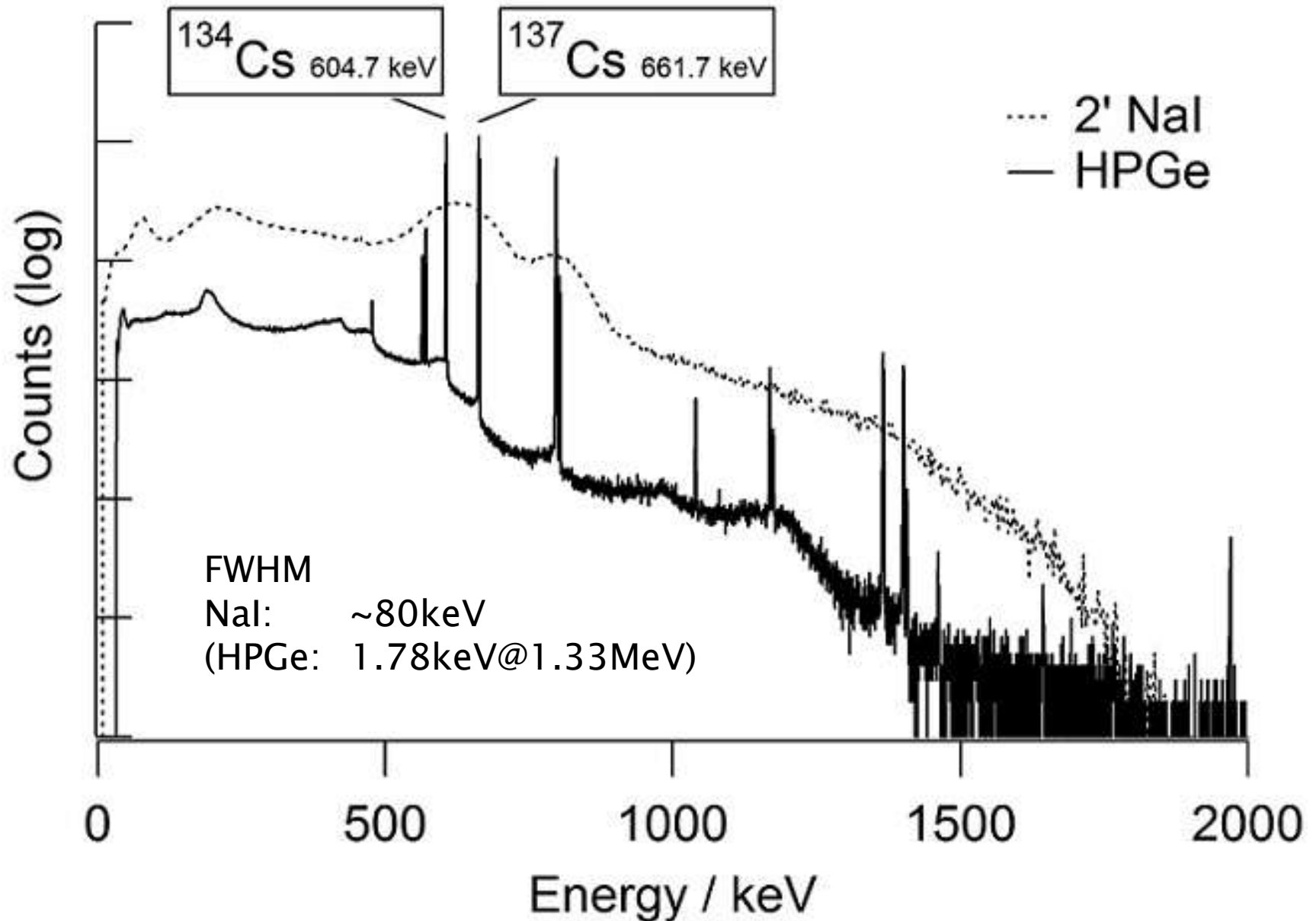
(参考)JCO事故のガンマ線スペクトル(土壌)1



(参考)JCO事故時のガンマ線スペクトル(土壌)2



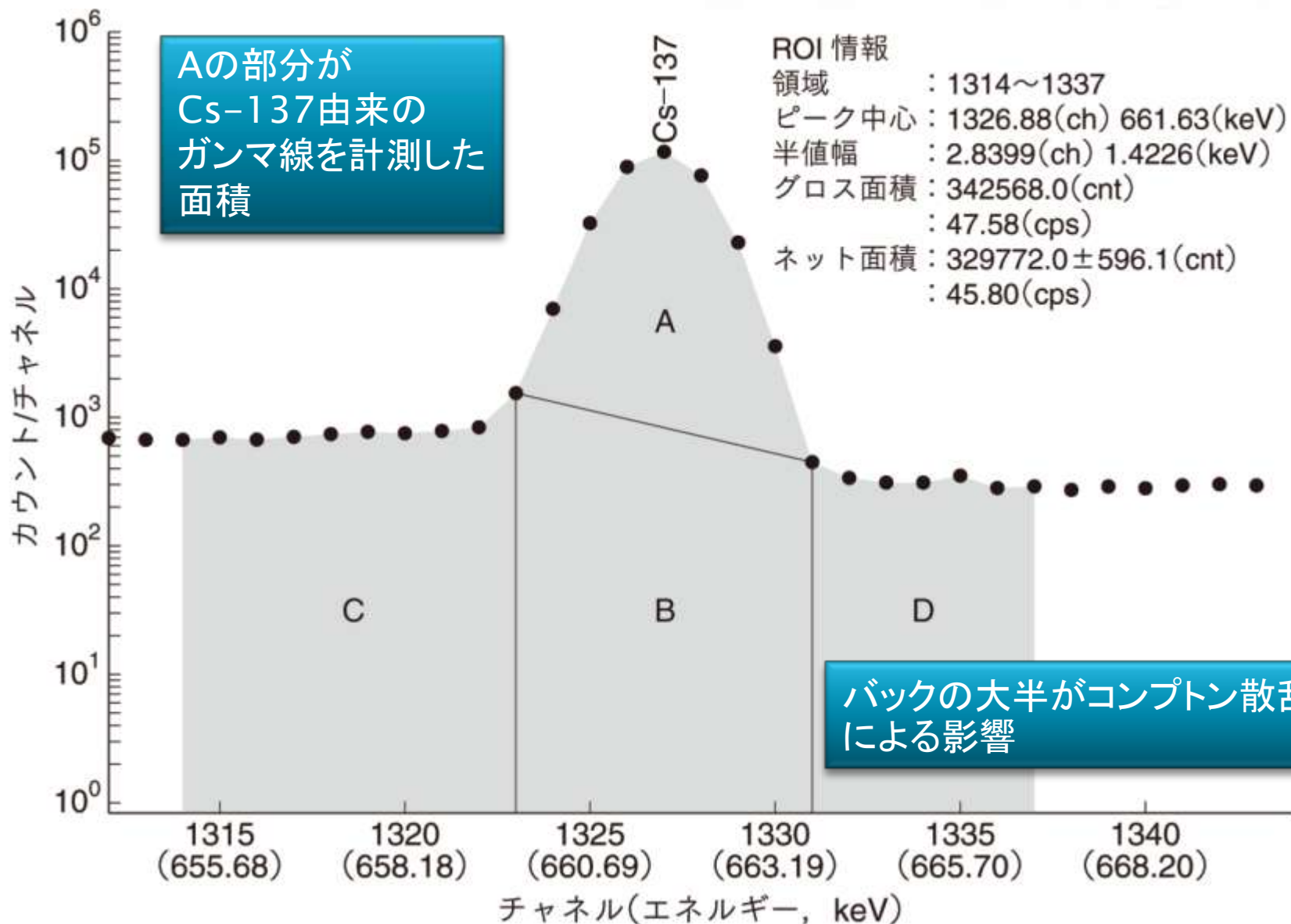
γ線スペクトルの比較(NaIカウンターvsGe半導体検出器)



ピークを拡大してみると...

$$DL = 3\sigma = 3\sqrt{(A+B) + \alpha^2 C + \beta^2 D}$$

ただし α, β は定数



ここで実際に ^{137}Cs を測ってみましょう

▶ 用いる装置はCdZnTe半導体検出器

- Ge半導体検出器ほどではないが、NaIよりはよい分解能

$$A = \frac{C}{t \cdot w \cdot \eta} \cdot \frac{1}{e} \cdot \epsilon = \frac{C}{t} \cdot 278.8$$

検出器・測定条件によって値は異なる。あくまでこの機器の場合

A:放射能(Bq/g)

C:ネットカウント

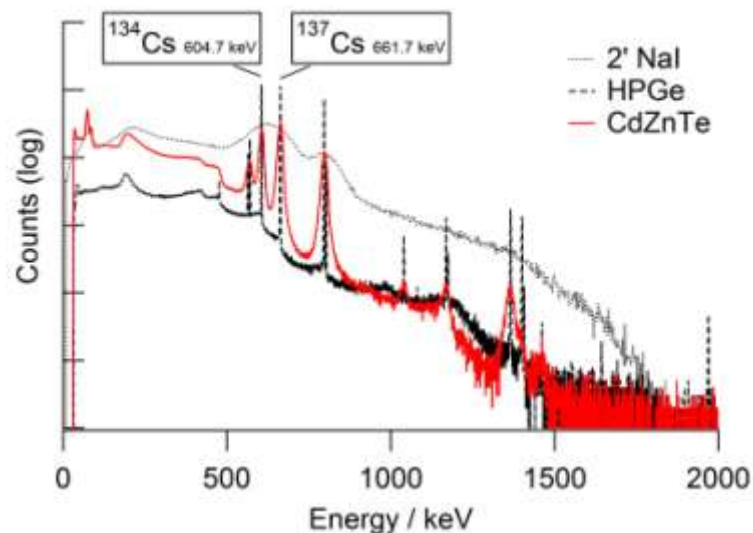
η :放出率(0.85)

t:測定時間(不感時間を除く、単位は秒)

w:試料重量(23.3g)

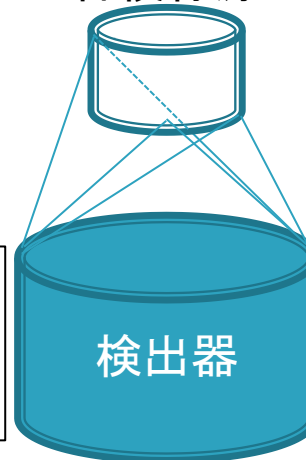
e:検出効率補正值(0.018%)[エネルギー、体積、測定距離によって異なる]

ϵ :自己吸収補正值(1)[試料形態によって異なる、含水率など]



容積線源

点線源



体積がある線源の場合、
「かさ」に応じて検出効率が
変わる

ベータ線の測定装置

- ▶ (例えば)液体シンチレーションカウンタ
 - ベータ線は連続スペクトル、核種を決めるためには...?

^{90}Sr はこれ！

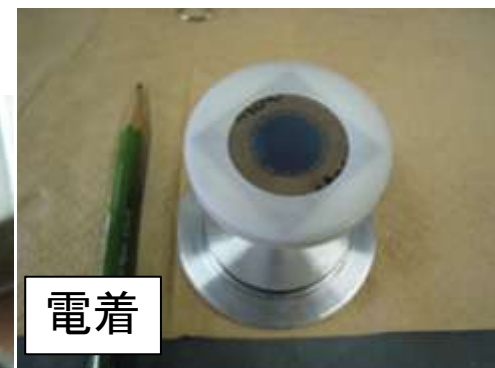


(液シン、なんて略せるとカッコいいね！)

アルファ線核種の測定装置(1/2)

U, Th, Pu, Am, Cm...はこれ!

▶ アルファスペクトロメトリ



分析はものすごく大変。

ターゲット元素を化学分離 → 精製 → 電着(線源を作る) → α 線計測

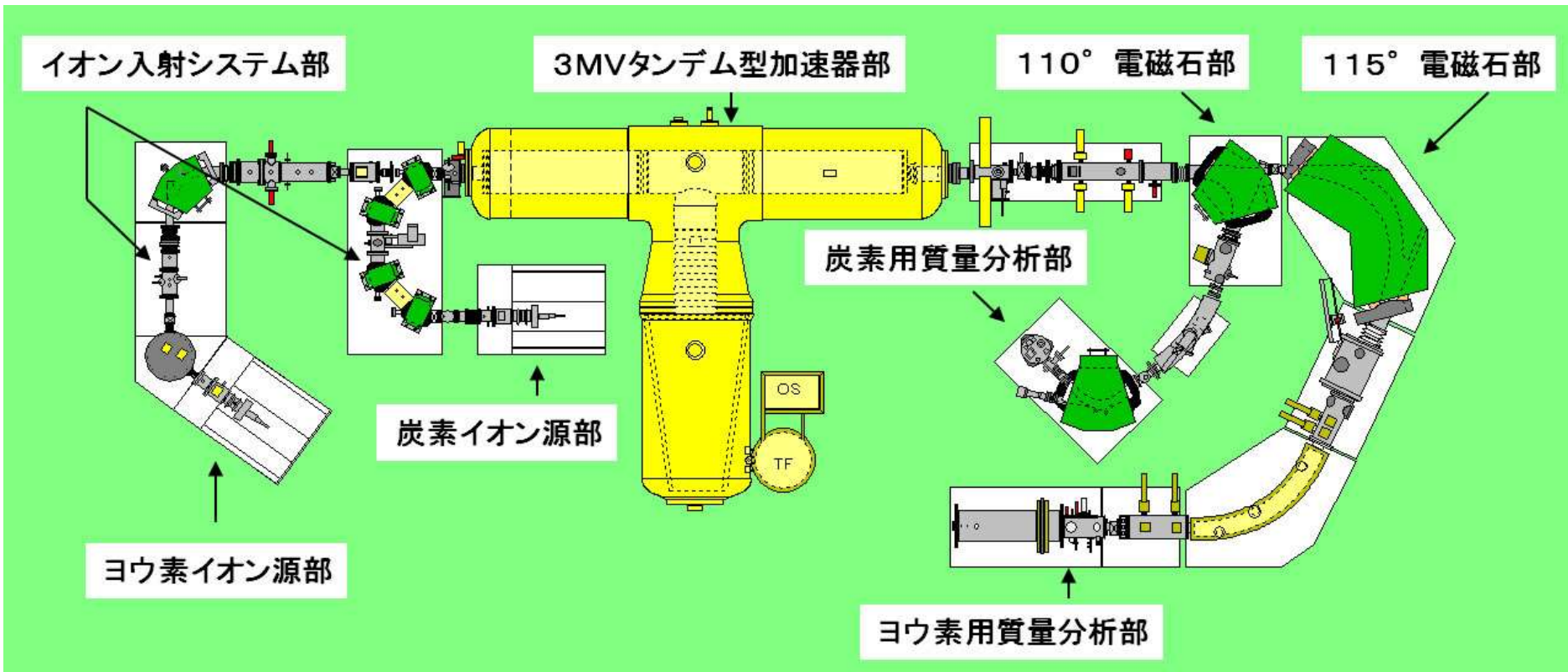
アルファ線の測定装置(2/2)

半減期が長い=重さで測った方がいい

▶ AMS, ICP-MS(質量分析計)

^{239}Pu は半減期24000年。 ^{131}I は半減期8日。
同じ1Bqでも、原子数で比べたら...?

加速器質量分析計の一例



(参考)半減期が短い核種の存在量を推定するには...?

- ▶ ^{131}I は半減期が約8日。拡散の実態を調べる前に崩壊し尽くしてしまう。どうやって事故初期の ^{131}I を推定するのか。

答え: 直接 ^{131}I を測定するのではなく、同位体(^{129}I or ^{127}I)から推定する

2. 調査内容

○ヨウ素129 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 比)の測定は東京大学のAMS(加速器質量分析装置)を用い、ヨウ素127(安定ヨウ素)の測定は学習院大学のICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析装置)を用いて行う。

この結果から見ると、ヨウ素129とヨウ素131は良い相関であると言える($R^2=0.96$)。ヨウ素129の土壤中濃度(Bq/kg)に対するヨウ素131の土壤中濃度(Bq/kg; 4月1日に半減期補正)の比率($^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ 比)の平均値は、4,100,000であった。

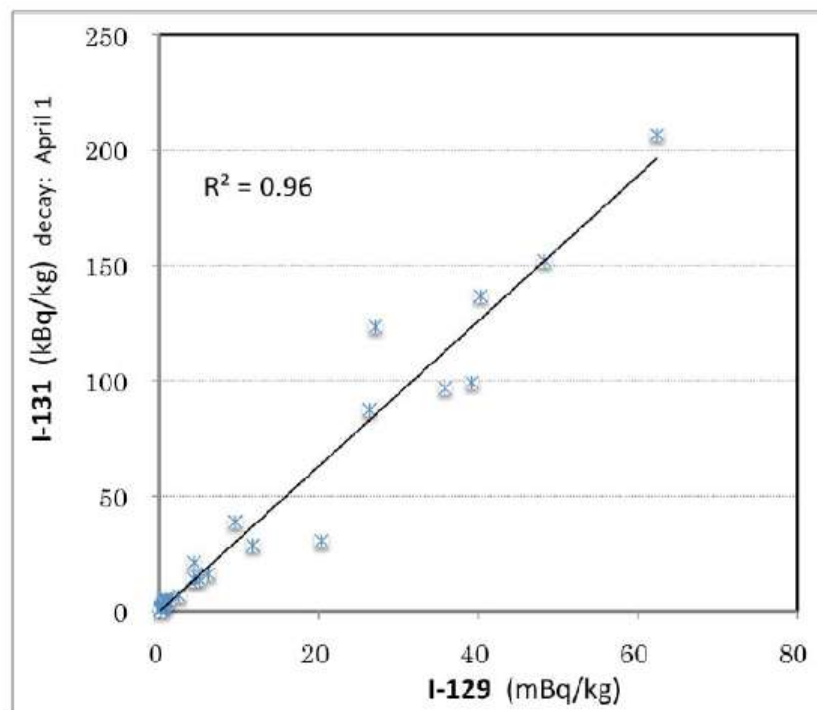


図-3 ヨウ素129とヨウ素131の相関 (n=36) 減衰補正は4月1日
(学習院大や福島県が採取した試料の分析)

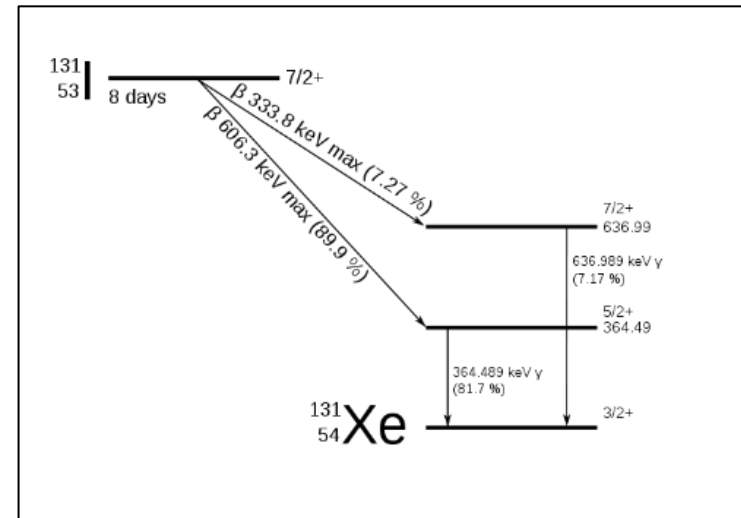
連続して崩壊する場合の放射能の計算

▶ 単純な放射能の計算は実演済み

- ピークのネット値の計算
- 放出率、単位重量換算、半減期補正

▶ 多段階で崩壊する場合には

- 「親核種」と「娘核種」の関係を考慮する



- 放射性核種が壊変し、新たな放射性核種が生じるとき、生じた核種を娘核種といい、元の核種を親核種と呼ぶ。
- 親核種の半減期を T_1 、娘核種の半減期を T_2 とするとき T_1 と T_2 の大きさにで過渡平衡と永続平衡、放射平衡が成立しない場合に分かれる。

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad , \quad N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

放射能の半減期補正とは

- ▶ 今日、ある土壌試料のガンマ線を計測したら、 ^{134}Cs が50Bqと ^{137}Cs が100 Bq/kgであった。
- ▶ 今日は事故から(簡単のため)2.5年経過している。 ^{134}Cs の半減期は2年、 ^{137}Cs の半減期は30年である。

1. ^{134}Cs , ^{137}Cs は(大半が) β^- 崩壊する。生成する核種は何か。

37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*1	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn

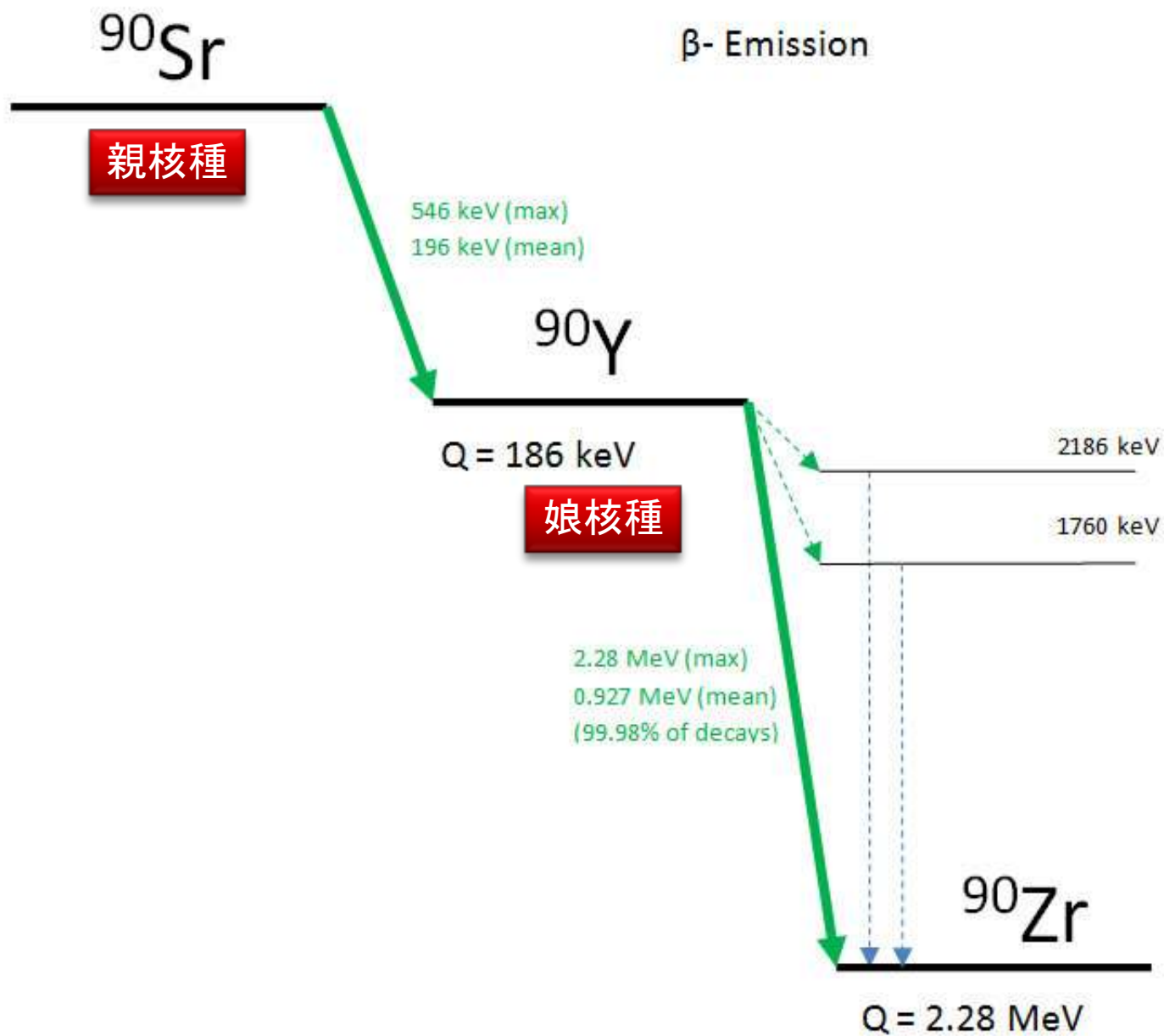
2. 事故当時の ^{134}Cs , ^{137}Cs の放射能はいくらか？

^{134}Cs : 119 Bq, ^{137}Cs : 106 Bq

*事故当時は $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ が約1でした

- ▶ 面倒なのは娘核種も崩壊する場合。

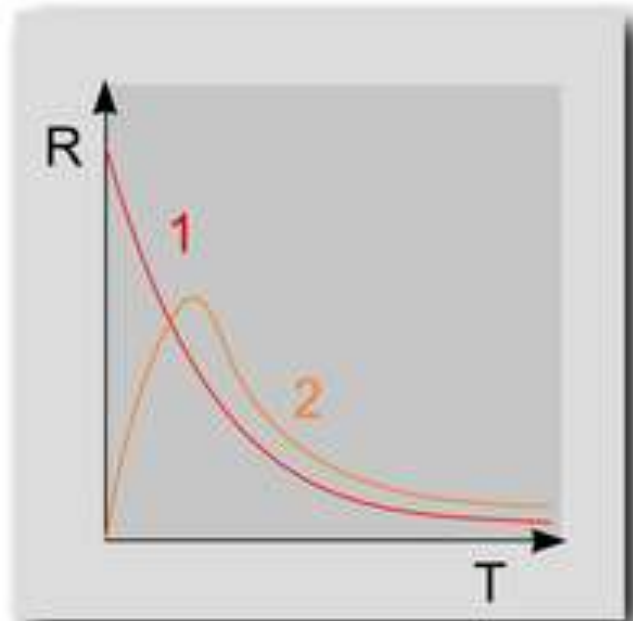
親核種と娘核種(^{90}Sr を例に)



過渡平衡と永続平衡

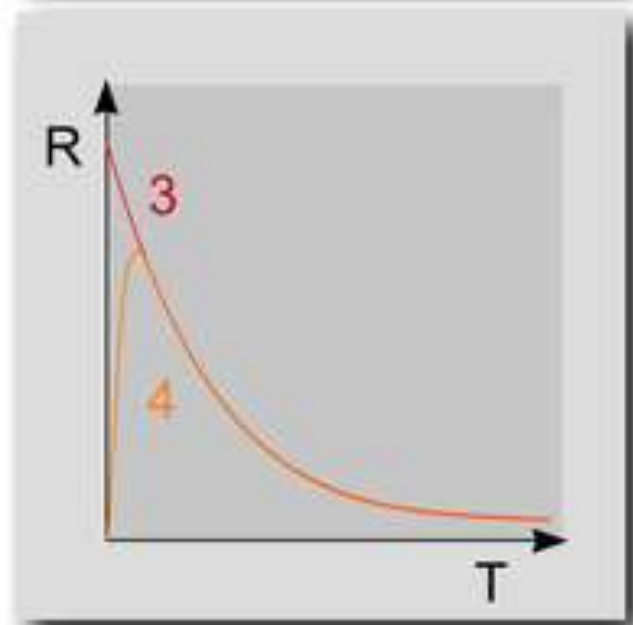
過渡平衡

- ▶ 娘核種の放射エネルギーが親核種の放射エネルギーを追い越して、両者の比率が平衡状態になる状態

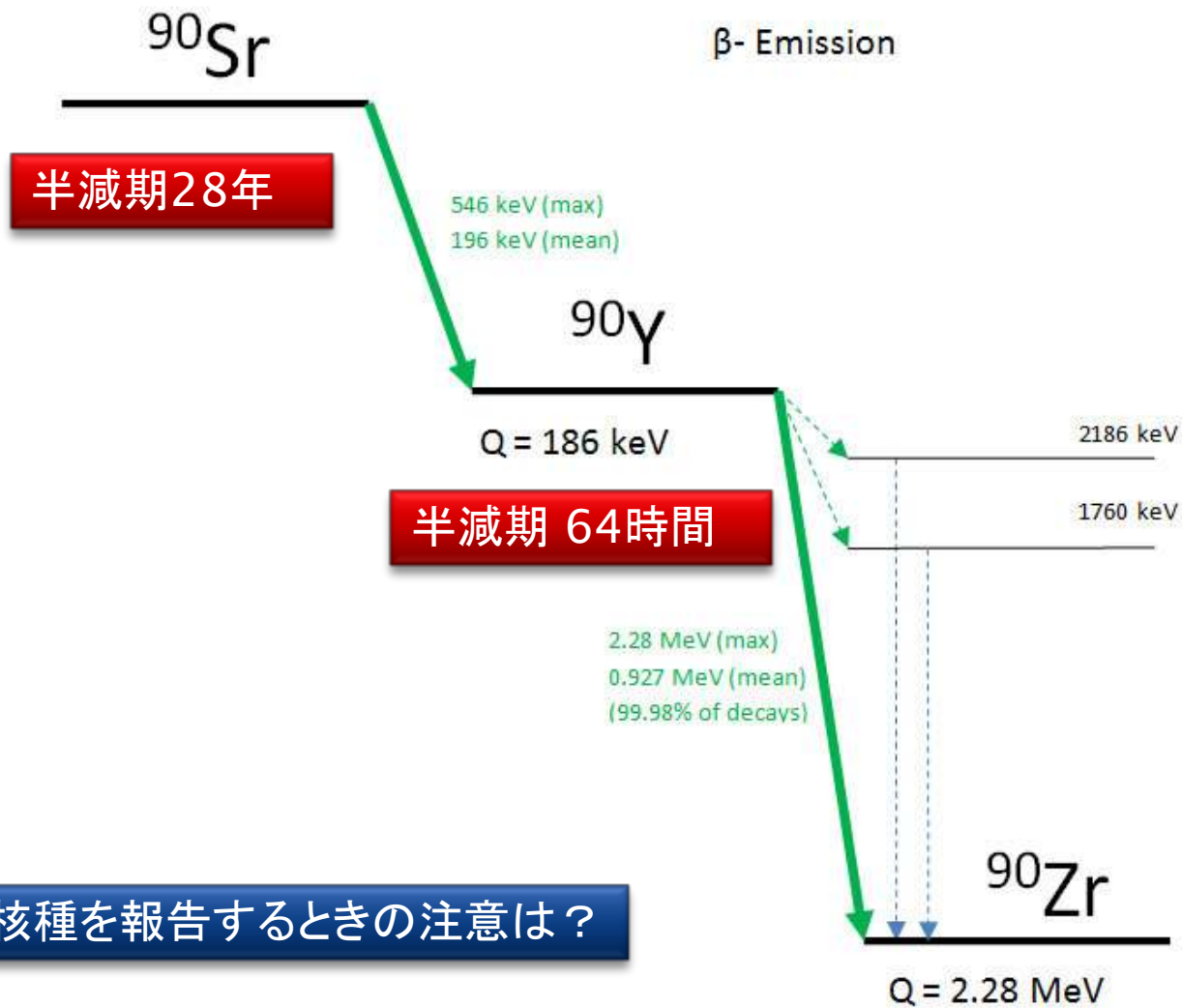


永続平衡

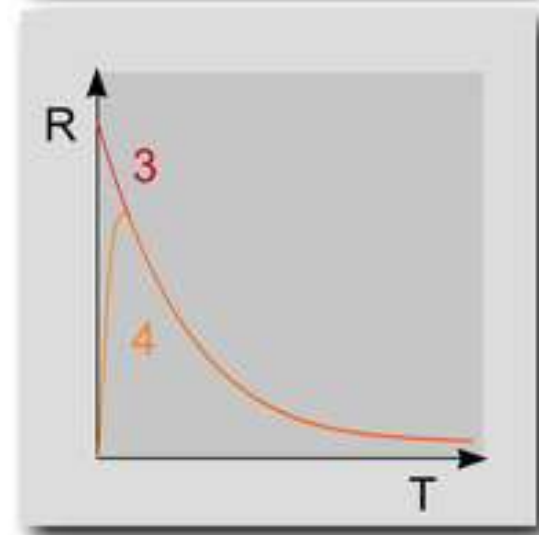
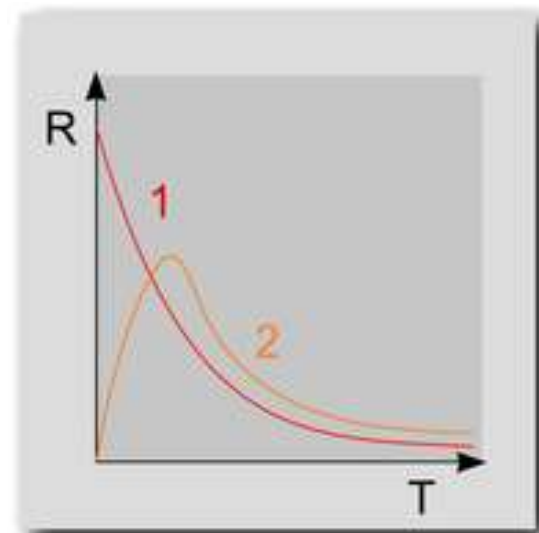
- ▶ 親核種の半減期が娘核種の半減期より圧倒的に長ければ、親核種の崩壊が娘核種の量を決めるために、親核種の放射エネルギーと娘核種の放射エネルギーは等しくなり、親核種の半減期カーブに沿って時間と共に減衰してゆく。



^{90}Sr は過渡平衡？永続平衡？



核種を報告するときの注意は？



食品中の放射性物質の基準値

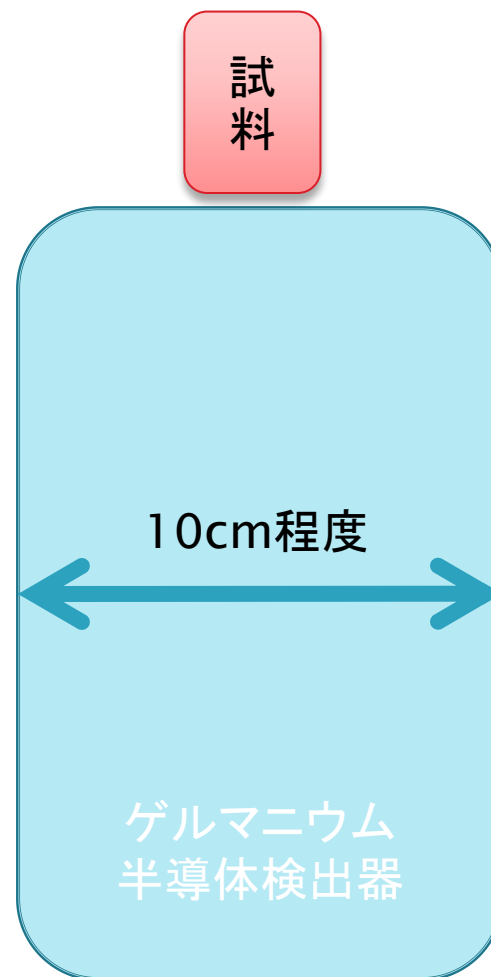
核種		基準値 (Bq/kg)	WHOガイドライン (Bq/kg)
放射性ヨウ素(^{131}I)	飲用水	300	10
放射性セシウム ($^{134+137}\text{Cs}$)	飲用水	10	10
	一般食品	100(暫定基準500)	

放射性セシウムは「ベータ線」と「ガンマ線」を出しますが、「ガンマ線」を測る方が楽なので、「ガンマ線」で測定します

もっとも大きな基準値である一般食品「100Bq/kg」について考えてみましょう

どうやって測っている？(1)

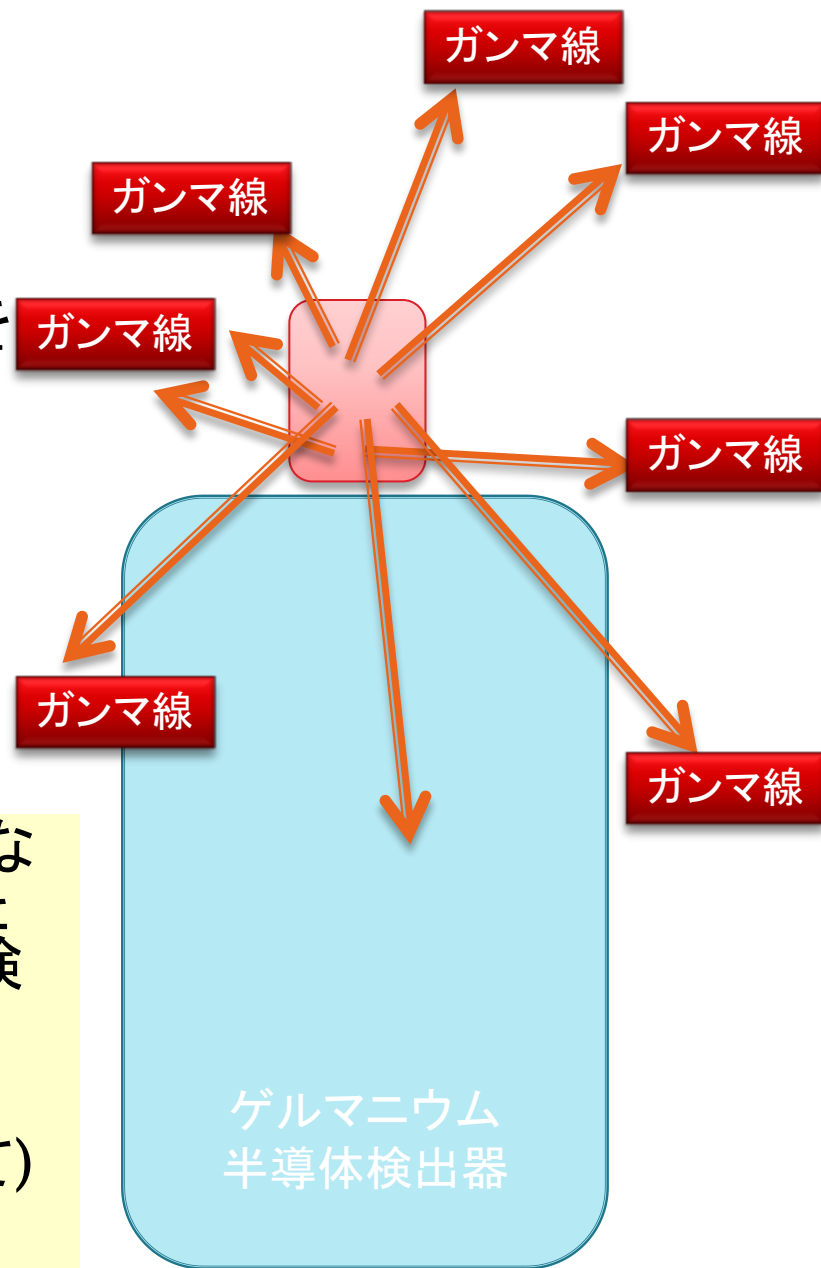
- ▶ 試料から放出されたガンマ線をゲルマニウム半導体検出器が検出
- ↓
- ▶ 検出器の上に載せられるサンプルの量は100g程度
- ↓
- ▶ 検出器上では「10Bq/100g」が基準値(元々100Bq/kg)



どうやって測っている？(2)

- ▶ 試料からは四方八方にガンマ線を放出
- ▶ 検出器に微かにかかる程度のガンマ線は検出できない
- ▶ ^{134}Cs の604keVの場合、一般的なGe半導体検出器なら、放出されたガンマ線の100本のうち1本しか検出できない(検出効率1%)
- ▶ 装置上では(放射性セシウムとして)0.1 cps/100gが基準値にみえる

cps = counts per second



どうやって測っている？(3)

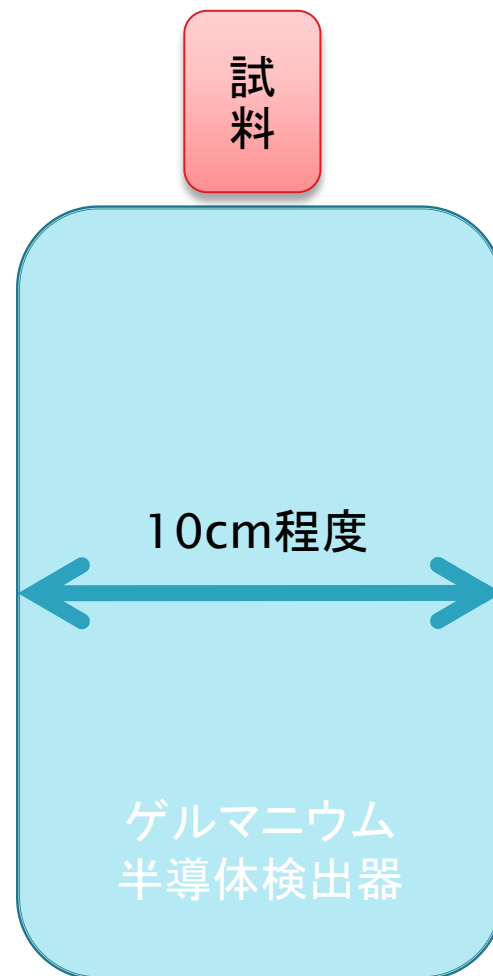
- ▶ 「放射性セシウム」というのは ^{134}Cs と ^{137}Cs の合算値



- ▶ 今回の事故では ^{134}Cs と ^{137}Cs がほぼ同等の放射能



- ▶ それぞれの核種で0.05 cps/100gが基準値



基準値は100 Bq/kgですが...

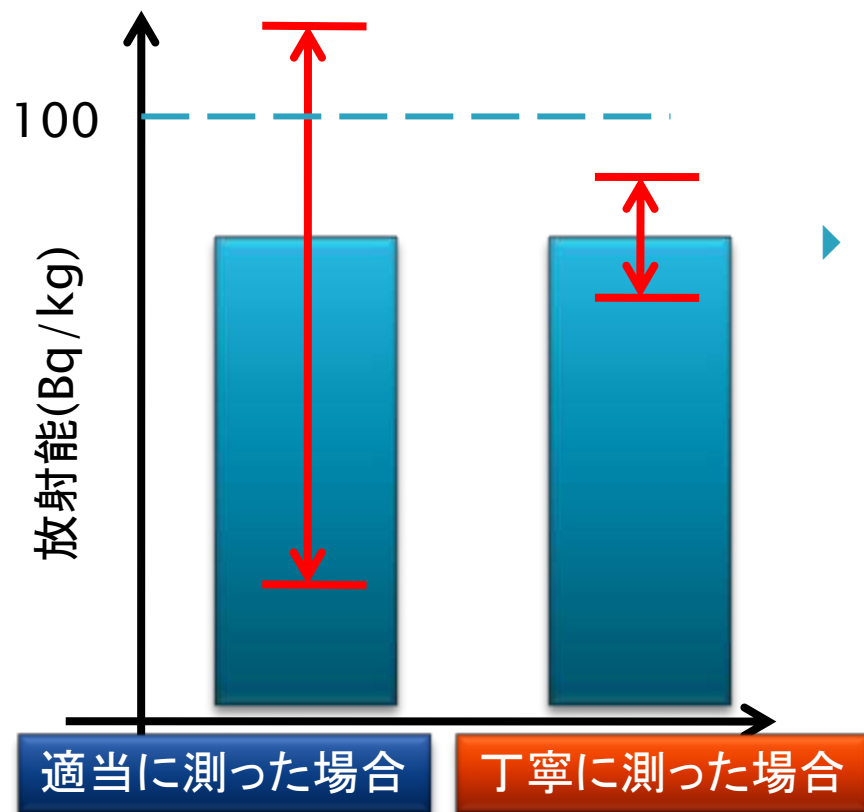
- ▶ 測定の現場では ^{134}Cs , ^{137}Cs が0.05 cps/100gを超えていれば、「基準値超過」。
- ▶ 0.05 cps(/100g)とは平均して20秒間に1回崩壊を検出するレート。
- ▶ 放射線は確率で崩壊しますので、崩壊の感覚が「急に早くなったり」「急に遅くなったり」する揺らぎがある。
 - 長い時間をかけてみれば、半減期に則った速度で崩壊している
- ▶ 0.05cps(/100g)の揺らぎの影響を少なくするためには、数時間の測定が原理的に必要

「不検出」の表記について

- ▶ NDとはNot detected(検出されず)の略です。
- ▶ 仮にたっぷり放射性セシウムが入っていても、1-2分の測定では放射能を決定することができません。この場合、NDと表記されることがあります。(つまり「検出限界が非常に高い」状態)
- ▶ 一般的には時間をかければかけるほど、精度良く測れます。(時間の平方根に比例して精度が良くなります)
- ▶ 100Bq/kgの基準値の判定なら、Ge半導体検出器で最低でも1時間以上の測定が必要です。
 - NaIなら特殊な訓練が必要。

信頼できる測定とは...

- ▶ エラーバー(誤差)が付いている測定結果です。
- ▶ 誤差の大きさや特徴で、どんな測定をしたのか分かります。



- ▶ 一見すると、100Bq以下でもエラーバーを考慮すると超過していることは十分に考えられます。

10試料の測定結果(良くない表記)

No.	試料	採取場所	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
1	畑の土	練馬区内	ND	14.1
2	ジャガイモ	練馬区内	4.58	7.16
3	培養土	練馬区内	5.95	9.35
4	梅	練馬区内	ND	ND
5	干し椎茸	群馬産	ND	ND
6	路傍の土	練馬区内	4110	6330
7	生椎茸	富山産	ND	ND
8	カツオ	?	ND	ND
9	田圃の土	練馬区内	185	298
10	ブルーベリー	練馬区内	1.42	ND

10試料の測定結果(ちょっと良い)

No.	試料	採取場所	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
1	畑の土	練馬区内	ND	14.1±2.17
2	ジャガイモ	練馬区内	4.58±0.55	7.16±0.86
3	培養土	練馬区内	5.95±1.43	9.35±1.89
4	梅	練馬区内	ND	ND
5	干し椎茸	群馬産	ND	ND
6	路傍の土	練馬区内	4110±20.9	6330±38.7
7	生椎茸	富山産	ND	ND
8	カツオ	?	ND	ND
9	田圃の土	練馬区内	185±11.6	298±19.4
10	ブルーベリー	練馬区内	1.42±0.29	ND

10試料の測定結果(詳細)

No.	試料	採取場所	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
1	畑の土	練馬区内	ND(5.56)	14.1±2.17
2	ジャガイモ	練馬区内	4.58±0.55(0.23)	7.16±0.86(2.33)
3	培養土	練馬区内	5.95±1.43(5.82)	9.35±1.89(6.78)
4	梅	練馬区内	ND(2σ)(3.98)	ND(2σ)(4.04)
5	干し椎茸	群馬産	ND(26.6)	ND(29.4)
6	路傍の土	練馬区内	4110±20.9(24.6)	6330±38.7(21.6)
7	生椎茸	富山産	ND(5.65)	ND(5.73)
8	カツオ	?	ND(4.12)	ND(5.32)
9	田圃の土	練馬区内	185±11.6(37.5)	298±19.4(33.5)
10	ブルーベリー	練馬区内	1.42±0.29(1.01)	ND(2σ)(1.38)

「学生のレポートなら0点」だそうです

毎日jp

ホーム

ニュース

オピニオン

スポーツ

エンタメ

地域

特集・連載

ENGLISH

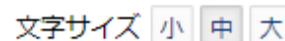
天気 交通 株式

地域 大盛り北海道 いりやあせ名古屋 めっちゃ関西 オッショイ!九州 首都圏版

購読 試読

トップ > 地域 > 記事

[PR] ウィルスと戦う細胞の仕組みとは? WEB漫画「新抗体物語」第8話が公開中



福島第1原発:海水汚染調査で数値の誤差15% 東電認める

毎日新聞 2013年10月22日 大阪朝刊

東京電力は21日、福島第1原発周辺の海洋で実施している放射性物質のモニタリング結果について、公表数値に比べてプラスマイナス15%程度の誤差があることを明らかにした。同日に開かれた原子力規制委員会の海洋モニタリング検討チームの会合で認めた。

政府や東電は、同原発の汚染水の影響は原発港湾内(0.3平方キロ)にとどまり、港湾外の放射性物質濃度はおおむね検出限界未満としているが、誤差を加味すると検出限界を超える場合もある。原子力規制庁は、放射線測定器の誤差なども含めれば最大50%程度になるとしている。前回の検討チームの会合では、東電がこうした誤差を公表数値に明記しないことに、「学生のレポートなら0点だ」(青山道夫・気象庁気象研究所主任研究官)などと批判が出ていた。【中西拓司】

食品の測り方

- ▶ 食品の放射能は正確に測りにくい！
 - 水っぽい(水は放射線の遮蔽剤)
 - 隙間があったり密度が一定じゃなかったり
 - サンプルには揺らぎがある

なぜ灰にするの？

1. 焼却炉の灰と同じ理屈、要するに濃縮したい
2. 水分がなくなるので測りやすい

食品(トマト)の前処理

生トマト



凍結乾燥後



灰化後



ゲルマに！



上手に灰(炭)にしてあげる

空間線量率の測定器の種類は3種類

$\beta(\gamma)$

γ

γ

ガイガーミュラー計数管

NaIシンチレーションカウンタ

CsIシンチレーションカウンタ

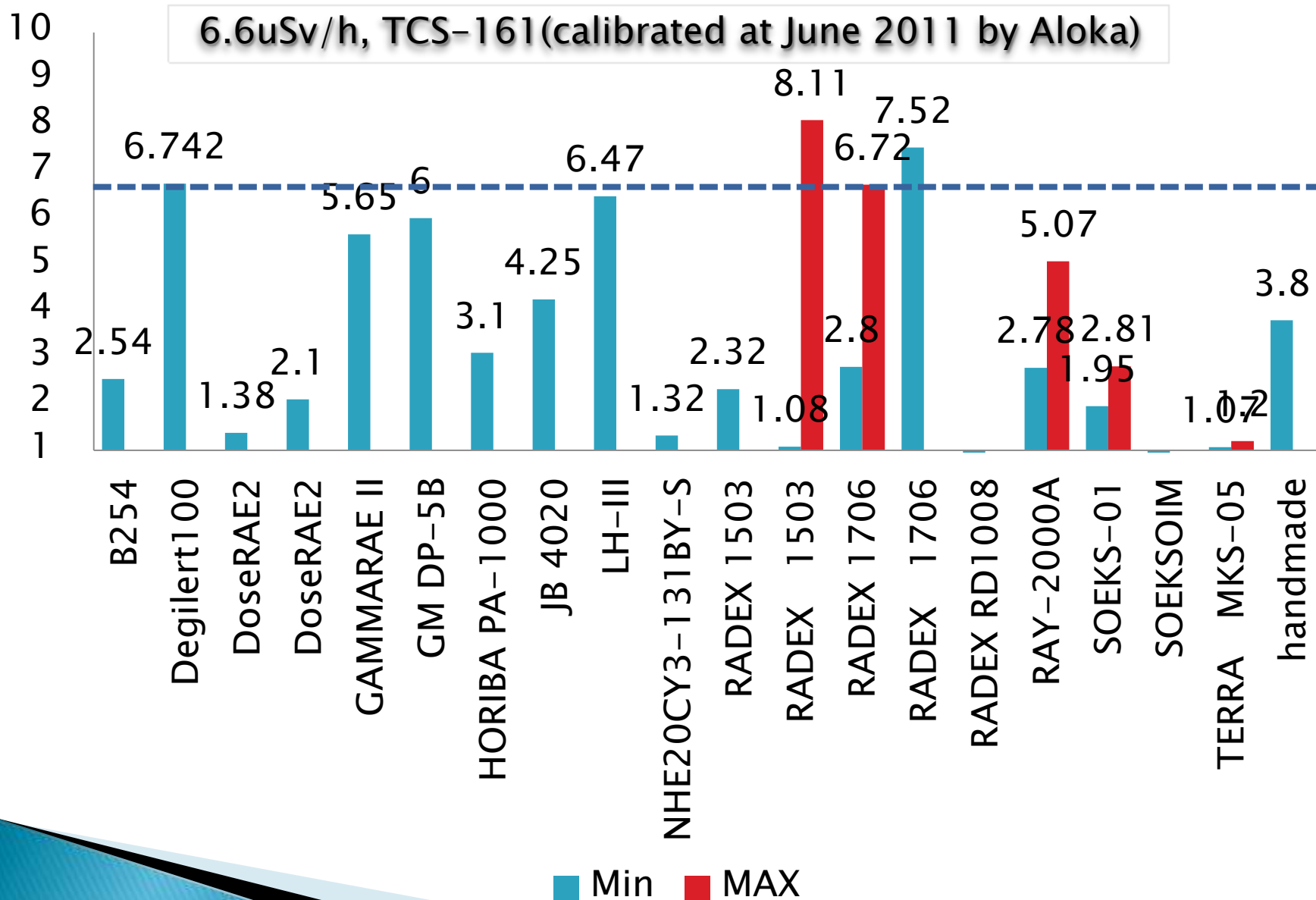


日立アロカ社ウェブサイトより



HORIBA社ウェブサイトより

以前の勉強会での測定結果



GM管でもサーベイメーターでも「カウントしかしていない」

- ▶ 数える放射線は違えど、カウントする事は同じ
 - ただし、エネルギーの分解能はない。
 - つまり、 ^{40}K であっても、 ^{137}Cs であっても同じ放射線として認識している。
- ▶ 表示はSvであることが多い、ただこれはあくまで目安。
 - 詳しい計算方法は線量計算(1/27)の回で。
- ▶ カウントから空間線量率への変換は簡単な変換で可能。
 - 例えば $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}=1$ のとき、 $10\text{kBq}/\text{m}^2$ なら $0.375\ \mu\text{Sv}/\text{h}$
 - IAEA TECDOC-1162参照
 - (ただしこれは周辺線量率で、実効線量とはまた異なる)

環境省による除染基準は $0.23\mu\text{Sv}/\text{h}$

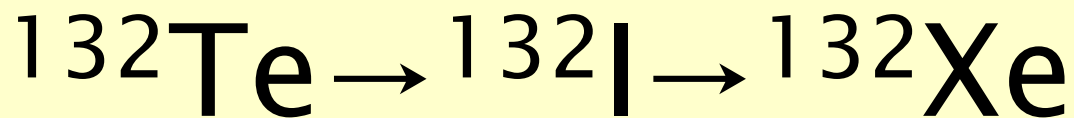
- ▶ この場合の測定高さは $0.5 - 1.0\text{ m}$
 - 0.5m は小学校以下及び特別支援学校の場合
 - 1.0m はその他の場合(実際には自治体側の判断による)
- ▶ 正直、この基準を越える/越えないことに興味関心はない。
 - 追加外部被曝 $1\text{ mSv}/\text{年}$ が基準
 - 追加 $1\text{ mSv}/\text{年} = [0.19\ \mu\text{Sv}/\text{h} \times (8\text{時間} + 0.4 \times 16\text{時間})] \times 365\text{日}$
 - 自然放射能は $0.04\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ と一律に計算。なので、線量計では 0.23 が基準
 - 実測値とのズレで現在問題になっている。
- ▶ 計算上 0.5m で測ろうが 1.0m で測ろうが大差はない(面線源なので)
 - ただ、実際に $0.5-1.0\text{m}$ で測定していたら空間分解能が悪すぎる

線量計の正しい見方は

- ▶ 本来なら、『標準線源』を用いて線量値の校正を行うべき。
- ▶ 校正作業ってコストが高い/そもそも校正できないものも。
- ▶ だとすれば、せめて同じ線量計で、「**相対変化**」を見るべき。
- ▶ 近づける距離や、対象を決めて、時間とともにどのように値が変化するか、を観察することが最も正しい姿勢。
 - **今あるホットスポットは今後どうなる？**

化学分野からの課題(#1)

- ▶ 原発事故から3日後に、ゲルマニウム半導体検出器を用いて ^{132}I (ヨウ素)の放射能を分析したい。講義の中で触れた注意点を参考に、放射能を報告する際に注意すべき点を解説せよ。



半減期3.3日

半減期2.3時間

放射線を測定する科学 - 環境放射化学(2)

▶ 環境放射化学

- 福島第一原発周辺(0-35km圏内)の放射能と核種
- 「ホットスポット」の核種の挙動
- 駒場キャンパスの線量

▶ 放射性物質の濃縮と拡散(ホットスポットはなぜできる?)

- ▶ 今回の講義で「測定法」を議論した。その結果を踏まえて、環境試料に含まれる放射性物質の挙動について議論したい。

核種の挙動を理解して欲しい

福島第一原子力発電所前にて(2011年4月)

